

La typologie et les caractéristiques hydromorphologiques des cours d'eau wallons

PETIT François, HALLOT Eric, HOUBRECHTS Geoffrey, LEVECQ Yannick, MOLS Julien, PEETERS Alexandre, VAN CAMPENHOUT Jean

Laboratoire d'Hydrographie et de Géomorphologie Fluviale – Université de Liège
Francois.Petit@ulg.ac.be

1. Introduction

La puissance spécifique représente en quelque sorte la capacité de travail qu'une rivière peut effectuer. C'est une notion introduite assez récemment en géomorphologie et, initialement, dans la perspective d'une évaluation du débit solide de la charge de fond, c'est-à-dire de la mobilisation et du transport des sédiments qui constituent le fond du lit (Bagnold, 1966 ; 1977).

Depuis lors, la puissance spécifique a trouvé d'autres champs d'application, principalement en vue d'appréhender l'activité des rivières telle que la dynamique des formes et des méandres (Ferguson, 1981) ou encore afin de cerner la possibilité de réaction et d'adaptation des rivières en réponse à des travaux d'aménagement (Brookes, 1988). La puissance spécifique est aussi couramment utilisée comme facteur de discrimination des lits fluviaux, notamment pour l'apparition du tressage (Ferguson, 1987 ; Bravard, 1991). Plus récemment, la distance parcourue par la charge de fond mobilisée a été mise en relation avec l'excès de puissance spécifique par rapport à la puissance spécifique critique, c'est-à-dire la puissance qui doit être atteinte ou dépassée pour qu'il y ait mise en mouvement de la charge de fond (Hassan *et al.*, 1992 ; Gintz *et al.*, 1996). Enfin, la puissance spécifique est maintenant envisagée comme critère en vue d'élaborer une typologie des rivières (Petit, 1995 ; Bernot *et al.*, 1996 ; Hallot *et al.*, 2004 ; Schmitt *et al.*, 2001 ; 2007). C'est dans cette perspective que les puissances spécifiques ont été évaluées dans plus de quatre-vingt stations situées principalement, en Wallonie.

2. Méthode et sites d'étude

La puissance spécifique (ω exprimée en W/m^2) se présente sous la forme suivante : $\omega = (g \rho Q S) / w$ avec Q le débit (en $m^3.s^{-1}$), w la largeur du lit (en m), S la pente longitudinale (en $m.m^{-1}$), ρ la masse volumique du fluide (en $kg.m^{-3}$) et g l'accélération de la pesanteur (en $m.s^{-2}$). Afin de permettre des comparaisons entre rivières différentes, on retient généralement comme débit, le débit à plein bord, auquel cas w est la largeur prise entre les berges au niveau du débordement.

Nous avons tout d'abord sélectionné une série de rivières à charge caillouteuse dont le bassin versant est constitué de roches imperméables. Ces rivières peuvent être schématiquement regroupées en trois ensembles distincts (figure 1) :

- le Sud de l'Ardenne : Sûre (Martelange - 1), Rulles (forêt d'Anlier - 2, Habay-la-Neuve - 3, Habay-la-Vieille - 4 et Tintigny - 6), Mellier (Marbehan - 5), Vièze (Suxy - 7), Semois ardennaise (Membre - 8) et certains de ses petits affluents (Ry du Moulin à Vresse-sur-Semois - 79 et ruisseau des Aleines à Auby-sur-Semois - 80) ;
- le Nord de l'Ardenne : Eau Noire (Couvin - 9), Houille (Felenne - 11), Lesse (Daverdisse - 12, Resteigne - 13 et Han-sur-Lesse - 14), Lhomme (Grupont - 16, Forrière - 17 et Jemelle - 18), Wamme (Hargimont - 19), Ourthe (Houffalize - 23 et Nisramont - 24), et certains de ses affluents : Aisne (Erezée - 26 Juzaine - 27), Amblève (Martinrive - 35), et sous-affluents, Lienne (Lorcé - 34), Salm (Trois-ponts - 32), Vesdre (Chaudfontaine - 37), Hoëgne (Theux - 36), Schwalm (Galgenberg - 38) ;
- la Fagne-Famenne : Eau Blanche (Aublin - 39 et Nismes - 40), Hermeton (Hastièze - 41), Wimbe (Lavaux-Ste-Anne - 43), Vachaux (Villers-sur-Lesse - 45), ruisseau d'Heure (Baillonville - 46), Marchette (Baillonville - 47).

Des rivières à charge caillouteuse sur substratum plus ou moins perméable ont également été retenues. Elles sont situées soit dans le Condroz, soit dans l'Entre-Vesdre-et-Meuse, soit dans la partie méridionale de la Hesbaye, comme la Méhaigne (Moha - 62) et la Burdinale (Marneffe - 61).

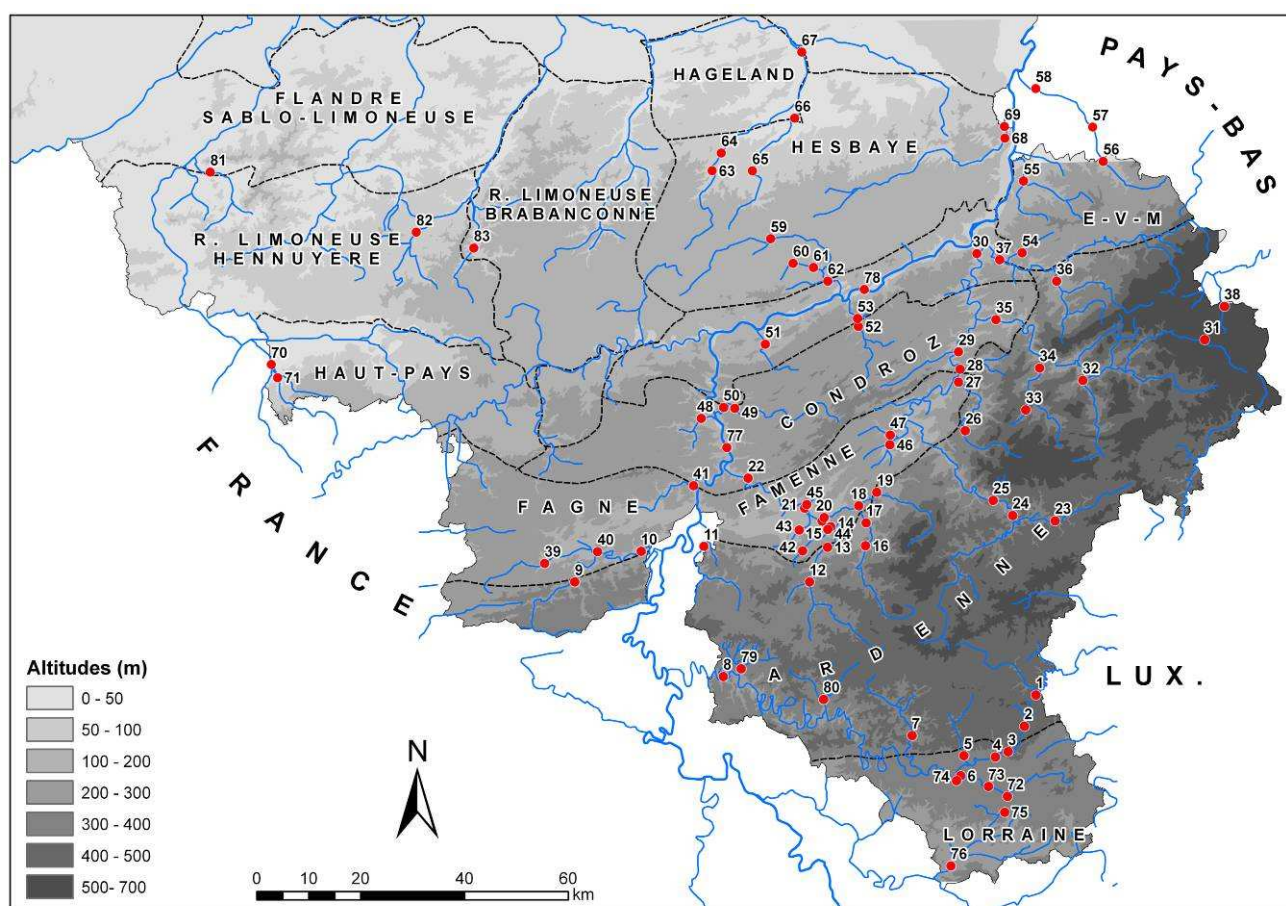


Figure 1 : Localisation des sites d'étude

Ont également été analysées des rivières à charge sableuse situées essentiellement en Lorraine (Rouge Eau à St-Léger - 76, Ton à Harnoncourt - 75, Semois lorraine à Chantemelle - 72, Etalle - 73 et Tintigny - 74) et à charge limono-sableuse situées en Hesbaye (Geer à Eben-Emael - 68 et à Kanne - 69, Gette à St-Jean-Geest - 63 et à Hoegaarden - 64), dans le Hainaut (Rhosnes à Amougies - 81, Grande Honnelle à Baisieux - 71 et Anneau à Quiévrain - 70) et dans le Brabant (Senne à Steenkerke - 82 et Sennette à Ronquières - 83). Précisons que certaines rivières plus importantes d'origine ardennaise traversent différentes régions naturelles mais conservent leur caractère ardennais en ce qui concerne leur charge caillouteuse et le régime des débits. C'est par exemple le cas de la Lesse (Eprave - 15 et Villers-sur-Lesse - 21) et de la Lhomme à Eprave (20) que nous considérerons comme des rivières ardennaises bien que ces stations limnigraphiques se situent en Famenne. De même, le Viroin (à Treignes - 10) se situe dans la bande calcaire mais garde une charge caillouteuse provenant de l'Ardenne, la plus grande partie de son bassin étant par ailleurs située sur des terrains imperméables.

3. Valeur du débit à plein bord et taille du bassin versant

Le débit à plein bord a été identifié aux stations limnimétriques et limnigraphiques existantes, selon une méthodologie testée et développée précédemment (Petit & Daxhelet, 1989 ; Petit & Pauquet, 1997 ; Petit *et al.*, 2005). Dans le cas des rivières à charge caillouteuse développées sur substratum imperméable, représentées essentiellement par les rivières ardennaises (*sensu stricto*), il se dessine une relation fiable entre les valeurs du débit à plein bord (Q_b en m^3/s) et la taille du bassin versant (A en km^2) : $Q_b = 0,1346 A^{0,974}$

Par rapport à cette relation, il apparaît que les rivières des autres régions présentent des valeurs du débit à plein bord différentes de celles de l'Ardenne.

Pour faire mieux ressortir ces écarts, nous avons calculé le résidu pondéré entre la valeur du Q_b donnée par la régression calculée pour les rivières ardennaises et la valeur réelle de la rivière considérée. L'intervalle de confiance à 95% de la relation calculée pour les valeurs ardennaises apparaît en grisé à la figure 2. Il correspond aux différentes positions que la droite de régression serait susceptible d'occuper avec des échantillons de rivières ardennaises différents.

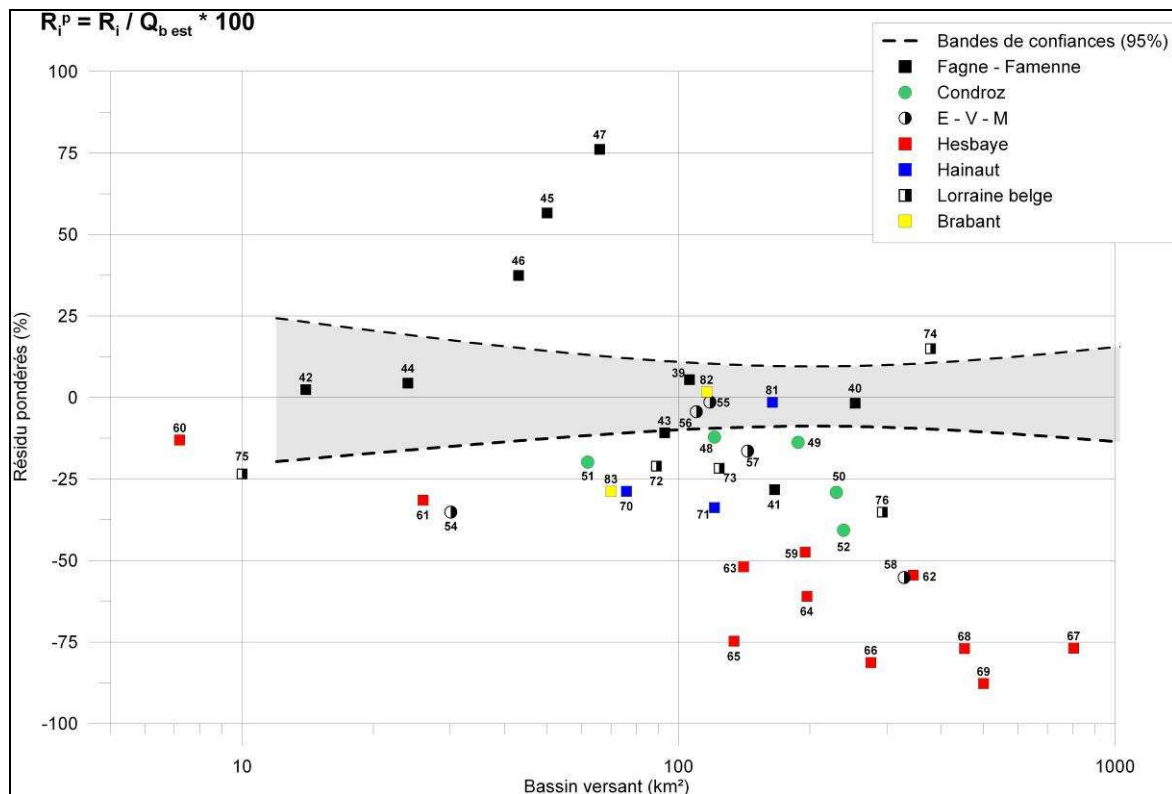


Figure 2 : Résidus pondérés (par rapport au $Q_{b,est}$) des valeurs de Q_b par rapport au modèle établi pour les rivières ardennaises

On peut noter les points suivants :

- toutes les rivières du Condroz ont des débits à plein bord plus faibles que ceux attendus par la régression, de même que celles de l'Entre-Vesdre-et-Meuse et de Lorraine ;
- cette différence est encore plus flagrante quand on envisage les rivières du Hainaut et surtout de Hesbaye ;
- en revanche, les rivières de Fagne-Famenne montrent, à des degrés divers, des valeurs du débit à plein bord plus importantes. C'est spécialement le cas du ruisseau d'Heure (Baillonville - 47), de la Marchette (Baillonville - 46) et du Vachaux (Villers-sur-Lesse - 45) qui semblent être des rivières typiques de la Famenne. Ceci se marque moins dans le cas de la Wimbe (Lavaux-Ste-Anne - 43) et du Ry d'Ave (Wellin - 42), du fait que ces rivières proviennent de l'Ardenne et conservent, au moins partiellement, certaines caractéristiques ardennaises, comme on l'a vu pour d'autres rivières plus importantes. Les valeurs élevées du débit à plein bord qui caractérisent les vraies rivières de Fagne-Famenne, résultent du fait qu'elles coulent sur des schistes peu résistants, ce qui permet une incision plus forte qui, comme on le verra par la suite, ressort de certains paramètres géométriques du lit tel que le rapport w/d (largeur / profondeur).

4. Récurrence du débit à plein bord et taille du bassin versant

Précisons d'emblée que les récurrences ont été calculées par ajustement de Gumbel, avec la série partielle des débits, en suivant une procédure détaillée par ailleurs (Petit *et al.*, 2005). Il se dessine une bonne relation entre la récurrence du débit à plein bord et la taille du bassin versant pour les rivières ardennaises (figure 3). Par ailleurs, on remarque systématiquement une récurrence plus élevée pour les rivières de Famenne. Mais cette récurrence est également plus élevée pour les rivières sur substrat perméable alors qu'elles avaient globalement des valeurs du débit plein bord plus faibles. Dans ce cas, il s'agit donc plus d'une influence du régime hydrologique que de la morphologie du lit et de la taille de la charge de fond. Dans les rivières de Hesbaye, il faut y voir en plus une faiblesse généralisée des écoulements (Gette et Geer par exemple), car les précipitations y sont nettement moins importantes et les prélèvements anthropiques sont loin d'être négligeables.

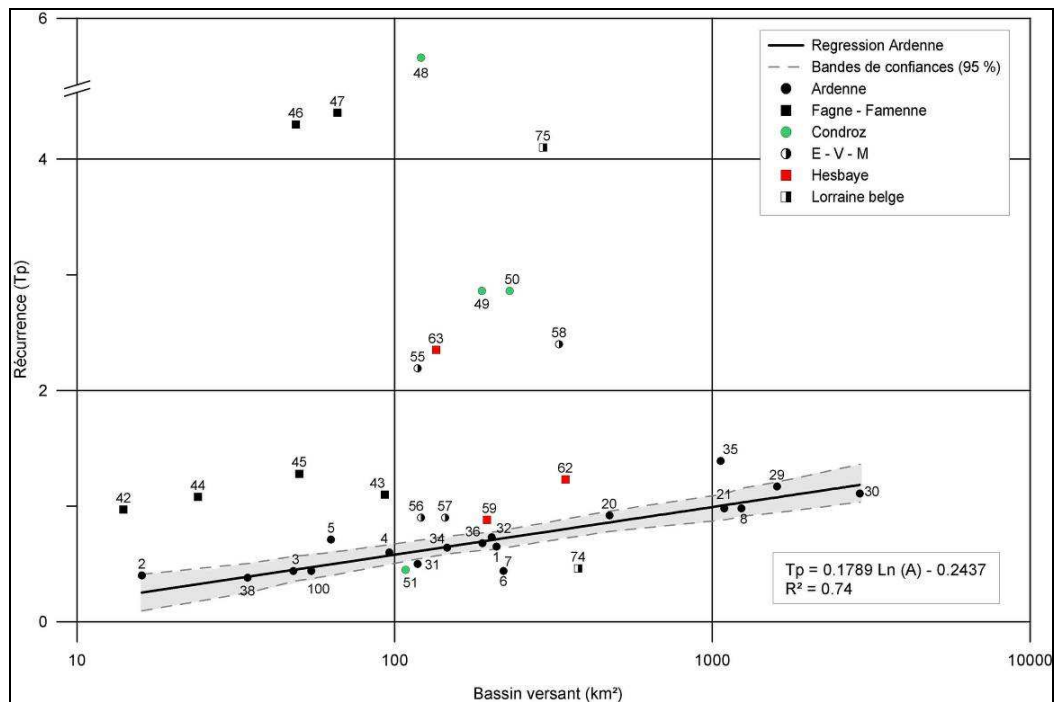


Figure 3 : Récurrence du débit à plein bord en fonction de la taille du bassin versant

5. Géométrie du lit des rivières en relation avec la taille de la charge de fond et influence sur la valeur du débit à plein bord

Les caractéristiques géométriques du lit mineur sont souvent synthétisées par le rapport largeur/profondeur, ces deux valeurs étant prises au plein bord. De façon générale, ce rapport augmente avec la taille du bassin versant car la largeur des rivières augmente plus vite que leur profondeur (Bravard & Petit, 1997).

Nous avons tracé une relation entre le rapport w/d et le débit à plein bord, pris comme descripteur de la taille du bassin versant, ceci uniquement pour les rivières ardennaises (figure 4).

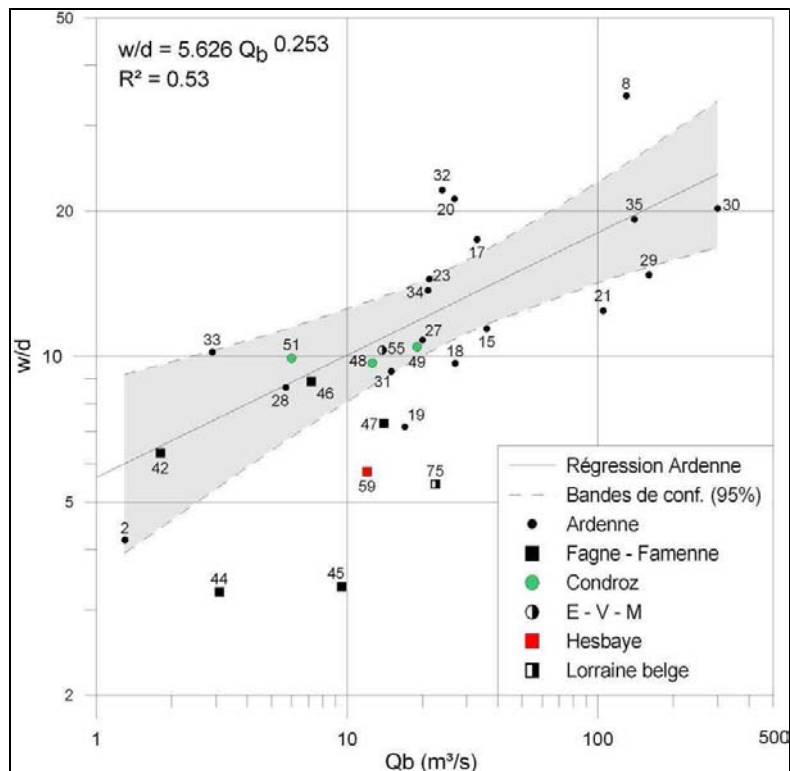


Figure 4 : Rapport largeur profondeur en fonction du débit à plein bord

Il se vérifie que le rapport augmente avec le débit à plein bord. Mais c'est la position des points par rapport à la droite de régression qui est intéressante à analyser : si, pour un débit à plein bord donné, les points se situent au-dessus de cette droite, ceci montre que le rapport w/d est anormalement élevé et donc que ces rivières sont larges et peu encaissées dans leur plaine alluviale. C'est par exemple le cas de la Semois ardennaise (8) dont la profondeur est contrôlée par les nombreux affleurements de roche en place résistante. De plus, la hauteur des berges y est moins importante, vu la plus faible sédimentation en plaine alluviale liée à une moindre disponibilité en sédiments fins dans le bassin versant de la Semois par rapport au nord de l'Ardenne.

En revanche lorsque les points se situent en dessous de la droite de régression, les rivières présentent alors un lit mineur encaissé par rapport à leur plaine alluviale, ce qui est le cas des rivières de Famenne (44, 45, 47) ainsi que des rivières de Hesbaye (59 et 62).

Ces différences peuvent également s'expliquer par la taille de la charge de fond et la nature de la roche encaissante. Il ressort de la figure 5 que les rivières qui ont une charge de fond grossière montrent généralement un rapport largeur/profondeur élevé tandis que les rivières à charge plus fine (rivières de la zone limoneuse telles que la Mehaigne à Ambresin - 59) sont plus étroites et profondes. De même, les vraies rivières de Famenne se caractérisent par une charge de fond relativement fine (il s'agit de débris de schistes fammeniens) alors que le bed-rock est peu résistant, ce qui permet l'encaissement du lit mineur (cas du ruisseau d'Heure à Baillonville - 47, de la Marchette à Baillonville - 46 et du Vachaux à Villers-sur-Lesse - 45). En revanche, une charge de fond grossière (comme celle de la Salm, 32) entrave l'incision de la rivière et, afin de pouvoir en assurer l'évacuation, implique un élargissement du lit.

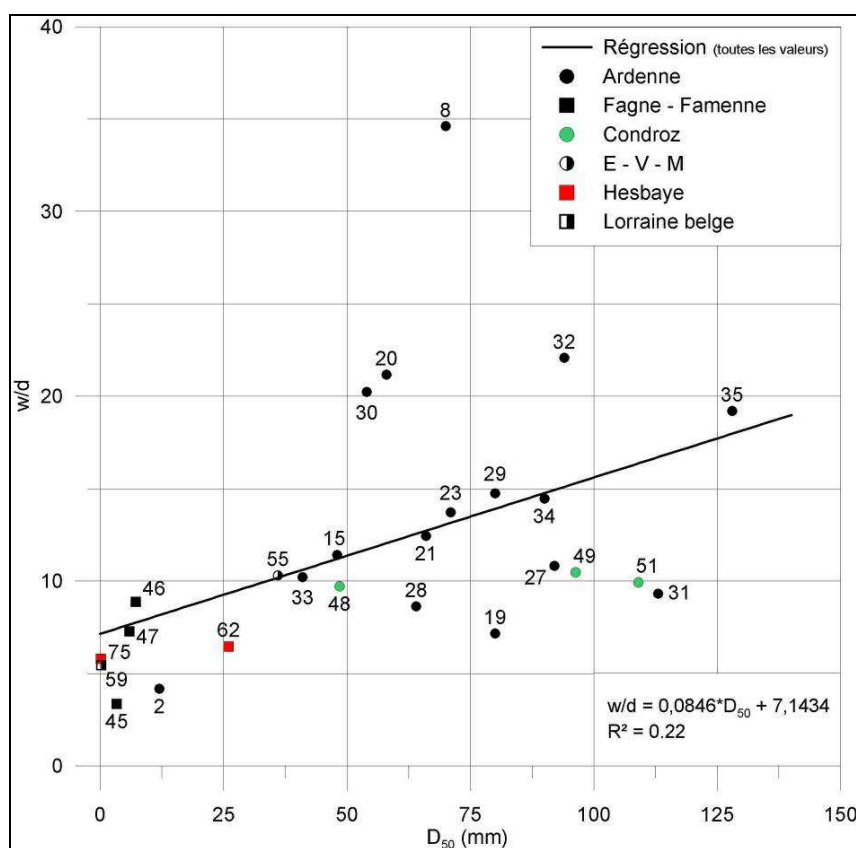


Figure 5 : Rapport largeur profondeur en fonction de la taille de la charge de fond

6. Puissances spécifiques

Les puissances spécifiques calculées pour le débit à plein bord ont été reportées sur une carte de synthèse. Toutefois, avant d'analyser cette carte il convient d'apporter quelques précisions quant au choix des classes de puissance que nous avons retenues (tableau 1).

Les rivières dont la puissance spécifique ne dépasse pas 15 W/m² se caractérisent généralement par des chenaux inactifs et des méandres libres relativement figés.

Les méandres actifs non confinés nécessitent des puissances au moins supérieures à 30 W/m², ce qui rejoint assez bien les conclusions de Brookes (1988) qui observait que les rivières dont la puissance est

inférieure à 35 W/m^2 , sont incapables d'un auto-ajustement en réponse à des aménagements ou à des contraintes extérieures.

Par contre, les rivières où la puissance dépasse 50 W/m^2 commencent à avoir une dynamique de modification du tracé fort active, avec des processus pouvant même aboutir à la multiplication des chenaux et à la formation du tressage, ceci dépendant aussi de la taille du matériau qui constitue le fond du lit puisque Richards (1982) considère que le tressage n'apparaît qu'au delà de 100 W/m^2 . Par ailleurs, dans ces rivières à forte énergie (80 à 100 W/m^2), le cycle apparition/disparition des méandres se réduirait à une vingtaine d'années (Bravard, 1991).

Tableau 1 : Valeurs « seuils » des puissances spécifiques au Q_b ou au $Q_{1.5}$

Inférieure à 15 W/m^2	Chenaux inactifs Méandres libres figés	Brookes (1988)
Inférieure à 35 W/m^2	Rivières incapables d'auto-ajustement	Brookes (1988)
Supérieure à 30 W/m^2	Méandres actifs	Ferguson (1991)
Supérieure à 50 W/m^2 Entre 80 et 100 W/m^2	Tendance au tressage « Cycle » de la méandration de l'ordre d'une vingtaine d'années	Ferguson (1987) Bravard (1991)
Supérieure à 100 W/m^2	Tressage	Richards (1982)
Supérieure à 200 W/m^2	<i>Step pool system</i> Marche cuvette	Gintz et al. (1996)

Enfin, lorsque la puissance spécifique atteint 200 W/m^2 , des rivières à charge caillouteuse grossière et à fort gradient peuvent alors s'organiser en *step-pool system*, c'est-à-dire une disposition en marches-cuvettes régulièrement espacées : les marches sont constituées de blocs alignés perpendiculairement au thalweg, tandis que des matériaux plus fins, mais toujours caillouteux, tapissent le fond des cuvettes.

6.1 Différenciation régionale basée sur les puissances

C'est en fonction des valeurs épinglées ci-dessus que nous avons retenu les différentes classes de puissance spécifique présentées sur la carte de synthèse (figure 6).

On note tout d'abord un contraste flagrant entre le sud et le nord de l'Ardenne. Les rivières du sud de l'Ardenne ont des puissances relativement faibles (inférieures à 30 W/m^2), ce qui résulte de pentes peu marquées liées au tracé de la Semois et à l'organisation de son réseau hydrographique dont la mise en place a été conditionnée par plusieurs captures fort anciennes qui ont affecté cette partie du bassin de la Meuse (Pissart, 1961). Toutefois, au niveau des affluents de la Semois, on observe un gradient est-ouest avec une augmentation progressive dans la partie aval du bassin de la Semois, vu l'encaissement de cette dernière dans la surface d'érosion.

Dans le nord de l'Ardenne, les puissances sont systématiquement plus importantes (toujours supérieures à 50 W/m^2) mais à des degrés divers. Dans l'Ardenne du nord-est, on note en effet des valeurs proches voire supérieures à 100 W/m^2 (cf. Aisne, Lienne, Salm, Hoëgne, Amblève). Les rivières de la bordure centrale de l'Ardenne montrent des valeurs légèrement plus faibles, aux environs de 70 W/m^2 pour la Lesse ardennaise et ses affluents mais avec un gradient est-ouest : la Wamme montre plus de 100 W/m^2 , suivie par la Lhomme et enfin par la Lesse elle-même, calqué sur l'énergie du relief. L'Ourthe, dans sa partie ardennaise, montre des puissances du même ordre de grandeur que la Lesse, voire légèrement plus faibles.

L'énergie du relief et la proximité de la Meuse qui fait office de niveau de base justifient également les puissances élevées de certaines rivières (Demoulin, 1998). C'est le cas de rivières du Condroz telles que le Bocq et le Hoyoux (plus de 75 W/m^2). C'est également le cas de la Houille qui, sur une courte distance, descend de la Croix Scaille et que l'on peut d'ailleurs opposer au Viroin qui a des puissances plus faibles étant donné que son tracé est plus long et que sa dénivelée est moindre.

Les rivières de Fagne-Famenne ont systématiquement des puissances inférieures à 50 W/m^2 et souvent voisines de 30 W/m^2 . Les rivières de Hesbaye montrent des puissances plus faibles encore, pour la plupart inférieures à 15 W/m^2 , à l'exception du cours inférieur de la Méhaigne et de son affluent là où elles incisent

le Paléozoïque. Notons enfin que les rivières de l'Entre-Vesdre-et-Meuse présentent des valeurs oscillant aux environs de 40 W/m². En Lorraine, la Rouge Eau, affluent du Ton, qui entaille le revers de la première cuesta, montre une puissance importante (supérieure à 50 W/m²) vis-à-vis des rivières à tracé subséquent telles que la Semois et, dans une moindre mesure, le Ton.

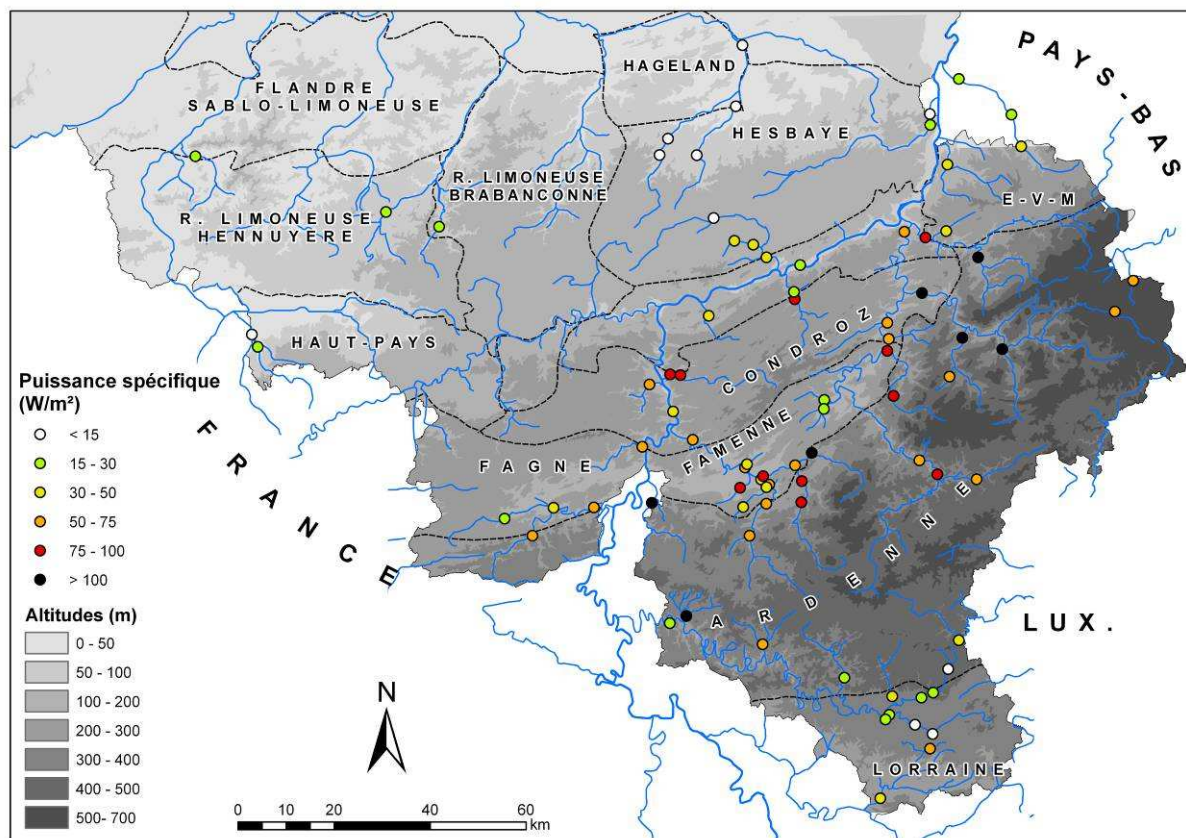


Figure 6 : Différenciation régionale basée sur les puissances

6.2 Dynamique des rivières en relation avec les puissances

Certains indices de la dynamique des rivières étudiées ci-dessus peuvent être mis en relation avec les valeurs de puissance proposées. Ces observations portent sur l'évolution de la méandration et le style fluvial, et d'autre part sur la compétence des rivières appréhendées par des campagnes de marquage de charge de fond et l'utilisation de différents types de traceurs (Houbrechts & Petit, 2003). Des éléments supplémentaires seront fournis par la résistance de protections de berges dans certaines des rivières étudiées.

Pour les rivières de Hesbaye, telles que le Geer, qui développent des puissances spécifiques faibles (inférieures à 15 W/m²), la comparaison des cartes les plus anciennes avec les cartes actuelles montre une grande stabilité de leur tracé, sans changement notable au niveau des méandres. Toutefois, nous avons constaté que, suite à l'édification d'embâcles latéraux agissant tels des déflecteurs, cette rivière peut réagir en constituant une méandration secondaire (Petit, 1975). En d'autres termes, un certain ajustement peut donc se réaliser, malgré des puissances inférieures à 15 W/m².

Les rivières du sud de l'Ardenne, qui développent des puissances peu importantes (moins de 30 W/m²), se caractérisent par une évolution peu rapide du cycle de la méandration. Une étude détaillée portant sur douze méandres de la Rulles en forêt d'Anlier montre que tous les méandres actuels étaient déjà présents en 1957 (date des premières photographies aériennes) et que la plupart d'entre eux n'ont pas évolué de façon significative (Petit, 1992). Par ailleurs, les recoupements de méandres prennent un temps considérable, même lorsque des chenaux s'individualisent au travers du pédoncule des méandres, ce qui nécessite une série de conditions préparatoires. La compétence effective de cette rivière est relativement limitée puisque les éléments les plus grossiers susceptibles de se déplacer sur de grandes distances n'atteignent que 15 mm (Petit, 1987).

Les rivières de l'Entre-Vesdre-et-Meuse, malgré des puissances comprises entre 30 et 50 W/m², font preuve d'une dynamique fort active puisque des érosions latérales atteignant localement 0,5 m/an ont été observées sur la Berwinne (Mols, 2004) ainsi que sur la Gueule (Stam, 2002) pour des puissances qui localement sont de l'ordre de 30 W/m². Notons également que ces rivières sont capables d'auto-ajustement rapide face à des aménagements tels que, par exemple, l'installation d'épis (Hallot *et al.*, 2003). Par ailleurs, comme démontré par Houbrechts *et al.* (2006), la mobilisation de la charge de fond est relativement fréquente dans la Berwinne, ce qui tiendrait notamment au fait que le diamètre médian de la charge de fond (D_{50}) y est relativement peu important (de l'ordre de 35 mm).

Dans le cas de rivières telles que l'Ourthe en Famenne, le temps de création des méandres dépasse la cinquantaine d'années et le temps nécessaire à leur recoupement complet est du même ordre de grandeur (Juvigné, 1964), ce qui nous donnerait un cycle apparition/disparition des méandres supérieur au siècle, alors que les puissances y dépassent 50 W/m². Par ailleurs, on remarque que, d'un point de vue morphologique, l'Ourthe en Famenne tend à évoluer localement vers une ébauche de tressage, par édification de bancs médians avec déversements latéraux, le D_{50} atteignant 40 à 50 mm. Ceci se marque également pour la Lesse en Famenne, où les puissances (60 W/m²) et le D_{50} (50 mm) y sont du même ordre de grandeur. Toutefois, la Lesse montre une activité plus marquée que l'Ourthe avec des déplacements de méandres sur plusieurs dizaines de mètres de distance en une vingtaine d'années.

Dans le nord de l'Ardenne, les systèmes à méandres libres bien organisés semblent être le fait de rivières à puissance relativement faible : pour rappel, on les retrouve dans des rivières où la puissance spécifique est de l'ordre de 60 W/m² avec un calibre de la charge de fond relativement limité (D_{50} entre 30 et 40 mm) ; il s'agit notamment de la Schwalm et de la Chavanne voire de la Lienne et de l'Ourthe occidentale dans la partie supérieure de leur cours.

La puissance beaucoup plus importante développée par les rivières du nord de l'Ardenne se marque également sur leur style fluvial et sur leur dynamique. En effet, dans des rivières comme l'Aisne et la Salm (puissances comprises entre 90 et 120 W/m², D_{50} entre 85 et 95 mm), l'organisation du lit mineur ne se fait pas en train régulier de méandres libres. Le lit est subrectiligne, avec une dominance de fond plat, même si on peut observer des ébauches de seuils et mouilles mais sans organisation systématique. Une autre catégorie peut être présente, avec une ébauche de tressage, lorsque des disponibilités de divagation latérale existent mais aussi en fonction de puissances suffisamment élevées vis-à-vis de la taille et de l'abondance de la charge de fond ; c'est le cas de la Wamme dans la dépression pré-ardennaise où les puissances atteignent 110 W/m² pour un D_{50} compris entre 60 et 70 mm.

Dans des rivières avec une puissance encore plus élevée (plus de 150 W/m²), telles que la Lienne, la Hoëgne ou la Helle, le lit est tapissé d'une charge de fond grossière (D_{50} de l'ordre de 100 mm), avec une tendance à l'organisation en *step-pool-system*, c'est-à-dire avec un alignement transversal des plus gros blocs. Toutefois, les puissances spécifiques des rivières ardennaises ne semblent pas suffisantes (théoriquement plus de 200 W/m²) pour permettre une organisation du lit en véritable *step-pool-system*.

7. Conclusions et perspectives

Dans cette étude, nous avons proposé une typologie des cours d'eau wallons basée sur les puissances spécifiques. De plus, des relations entre la taille du bassin et la valeur du débit à plein bord d'une part, entre le rapport largeur/profondeur du lit mineur (w/d) et le débit à plein bord d'autre part, ont été mises en évidence, ce qui permet d'individualiser certaines différenciations régionales. Au niveau des puissances spécifiques, on note un contraste très net entre les rivières du sud de l'Ardenne et celles du nord de l'Ardenne pour lesquelles on observe d'ailleurs un gradient est-ouest de décroissance des puissances. Les rivières du Condroz et de l'Entre-Vesdre-et-Meuse montrent des puissances intermédiaires alors que celles de Hesbaye ont des valeurs très faibles.

Il ressort aussi que les valeurs « seuils » des puissances proposées doivent faire intervenir la taille des sédiments qui constituent le fond du lit et/ou la taille des sédiments qui sont régulièrement mobilisés et transportés, ce qui nécessite une meilleure connaissance de ces derniers. A cet égard, une régionalisation des rivières ardennaises a déjà été élaborée sur base de leurs caractéristiques en terme de taille du matériel charrié, des quantités charriées, de l'épaisseur de la couche graveleuse qui est mobilisée et de l'occurrence des débits de charriage (Houbrechts *et al.*, 2006).

Une différenciation régionale est également en voie d'élaboration sur base des sédiments transportés en suspension (DCENN, 2006). Mises en relation avec les débits, les quantités de sédiments transportés en suspension permettent ainsi d'avancer des taux de dénudation des bassins versants, en relation avec leurs caractéristiques telles que la disponibilité en matériaux fins, l'affectation du sol et l'énergie du relief.

Par ailleurs, l'approche basée sur les puissances spécifiques permet de connaître les valeurs des puissances à des stations bien précises qui serviront ultérieurement de « calage » pour les puissances estimées sur des segments de rivières à partir de paramètres extraits de MNT.

8. Bibliographie

- BAGNOLD R.A., 1966. An approach to the sediment transport problem from general physics. *U.S. Geol. Survey Prof. Paper*, 422-1.
- BAGNOLD R.A., 1977. Bedload transport by natural rivers. *Water Resources Research*, 13 (2), 303-312.
- BERNOT V., CALLAND V., BRAVARD J.P. & FOUSSADIER R., 1996. La sectorisation longitudinale du Vidourle (Gard-Hérault) : une méthode appliquée à la gestion environnementale d'un espace fluvial méditerranéen. *Revue de Géographie de Lyon*, 74(4), 323-339.
- BRAVARD J.P., 1991. La dynamique fluviale à l'épreuve des changements environnementaux : Quels enseignements applicables à l'aménagement des rivières ? *La Houille Blanche*, 7-8, 515-521.
- BRAVARD J.P. & PETIT F., 1997. Les cours d'eau : dynamique du système fluvial. A. Colin, Paris, 222 p.
- BROOKES A., 1988. Channelized rivers, perspectives for environmental management. Wiley, New York, 326 p.
- DCENN, 2006. Caractérisation et quantification du transport des sédiments en rivières (matière en suspension et charge de fond) en relation avec une différence régionale. *Rapport d'état d'avancement, Laboratoire d'Hydrographie et de Géomorphologie fluviale de l'Université de Liège, Région Wallonne DCENN*, 79 p.
- DEMOULIN A., 1998. Testing the tectonic significance of some parameters of longitudinal river profiles: the case of the Ardenne (Belgium, NW Europe). *Geomorphology*, 24, 189-208.
- FERGUSON R.I., 1981. Channel form and channel changes. In *British Rivers*, Lewin J. (Ed), Allen, London, 91- 125.
- FERGUSON R.I. 1987. Hydraulic and sedimentary controls of channel pattern. In *River Channels, Environment and Process*. Richards K (Ed.), London, Blackwell, 130-155.
- GINTZ D., HASSAN M.A. & SCHMIDT K.H., 1996. Frequency and magnitude of bedload transport in a mountain river. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21, 433-455.
- HALLOT E., SCHMITT L., MOLS J. & PETIT F., 2004. Elaboration d'une typologie hydro-géomorphologique de cours d'eau dans l'Euregio Meuse-Rhin. *Mosella*, 24, 3-4, 309-322.
- HALLOT E., PETIT F., VERNIERS G. & LAMBOT F., 2003. Utilisation des techniques végétales pour la stabilisation des berges : suivi de chantiers réalisés dans différents types de rivières wallonnes. *Actes du colloque «Evaluer le milieu », Journées des géographes belges, SOBEG-BEVAS, Liège*, 173-178.
- HASSAN M.A., CHURCH M. & ASHWORTH P.J., 1992. Virtual rate and mean distance of travel of individual clasts in gravel bed channels. *Earth Surface Processes and Landforms*, 17, 617-627.
- HOUBRECHTS G., HALLOT E., GOB F., MOLS J., DEFECHEREUX O. & PETIT F., 2006. Fréquence et importance du charriage dans les rivières ardennaises. *Géographie physique et Quaternaire*, 24 p (sous presse).
- HOUBRECHTS G. & PETIT F., 2003. Utilisation des scories métallurgiques en dynamique fluviale : détermination de la compétence effective des rivières et estimation des vitesses de progression de leur charge de fond. *Géomorphologie*, 2003/1, 3-12.
- JUVIGNE E., 1964. Etude géomorphologique dans la région de Noisieux. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 87, 263-270.
- MOLS J., 2004. Dynamique fluviale en réponse aux changements d'affectation du sol des bassins versants de l'Euregio Meuse-Rhin, *Mém. DEA Sciences*, Univ. Liège, 55 p.
- PETIT F., 1975. Zone de dépôts et points d'érosion dans les méandres et les sinuosités du Geer inférieur. *Bull. Soc. Géog. Liège*, 11, 129-145.
- PETIT F., 1987. The relationship between shear stress and the shaping of the bed of a pebble-load river (la Rulles - Ardenne). *Catena*, 14 (5), 453-468.
- PETIT F., 1992. L'influence des plantations de résineux en fond de vallée sur l'évolution géomorphologique de rivières de Haute Belgique. *Colloque International Région Wallonne (Namur) : Impacts des travaux d'aménagement sur les cours d'eau: évaluation, méthodologie, aide à la gestion* : 341-352.
- PETIT F., 1995. Régime hydrologique et dynamique fluviale des rivières ardennaises. In *L'Ardenne : Essai de Géographie Physique. Livre en hommage au Professeur A. Pissart, Demoulin A. (Ed.)*, 194-223.
- PETIT F. & DAXHELET C., 1989. Détermination du débit à pleins bords et de sa récurrence dans différentes rivières de Moyenne et de Haute Belgique. *Bull. Soc. Géog. Liège*, 25, 69-84.
- PETIT F. & PAUQUET A., 1997. Bankfull discharge recurrence interval in gravel-bed rivers. *Earth Surface Processes and Landforms*, 22, 685-693.

- PETIT F., HALLOT E., HOUBRECHTS G. & MOLS J., 2005. Evaluation des puissances spécifiques de rivières de moyenne et haute Belgique, *Bull. Soc. Géog. Liège*, 46, 37-51.
- PISSART A., 1961. Les terrasses de la Meuse et de la Semois, la capture de la Meuse lorraine par la Meuse de Dinant. *Ann. Soc. Géol. Belgique*, 84, 1-108.
- RICHARDS K., 1982. Rivers, Forms and Process in Alluvial Channels. Methuen, 358 p.
- SCHMITT L., MAIRE G. & HUMBERT J., 2001. La puissance fluviale: définition, intérêt et limites pour une typologie hydro-géomorphologique des rivières. *Zeitschrift für Geomorphologie*, N.F., 45, 201-224.
- SCHMITT L., MAIRE G., NOBELIS P. & HUMBERT J., 2007. Quantitative morphodynamic typology of rivers: a methodological study based on the French Upper Rhine basin. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32,11, 1726-1746.
- STAM M. H., 2002. Effect of land-use and precipitation changes on floodplain sedimentation in the nineteenth and twentieth centuries (*Geul River, The Netherlands*), Spec. Publs Int. Ass. Sediment., 32, 251-267.